

# **Qualité des produits et qualité des caractéristiques élémentaires, l'objectif cible de la conception à la fabrication**

## **PILLET M.**

IUT Annecy

Université de Savoie – Laboratoire de Logiciels pour la Productique

9 rue de l'arc en Ciel

BP 240 74942 Annecy le Vieux Cedex

[maurice.pillet@univ-savoie.fr](mailto:maurice.pillet@univ-savoie.fr)

Tel 0450 092 275

### **Résumé :**

La première partie de ce travail propose de redéfinir les niveaux de qualité que sont le produit fini, et la caractéristique élémentaire. Nous proposons une nouvelle définition de la conformité d'une caractéristique élémentaire.

Nous montrons dans cette communication que la façon traditionnelle de déterminer la conformité pour une caractéristique élémentaire est préjudiciable à la qualité ou au coût du produit fini et vendu au client. En se focalisant sur le pourcentage de pièces non conformes, on oublie de prendre en compte l'aspect combinatoire des caractéristiques élémentaires dans un produit fini.

Nous montrons également que la définition actuelle de la dispersion comme étant l'intervalle contenant 99,73% de la production ne conduit pas à la conformité du produit fini et complique énormément son calcul dans les cas de répartitions non-normales ou dans le cas des tolérances unilatérales

Enfin nous proposons une autre approche pour mettre en place une Maîtrise de la Qualité des Produits (MQP) qui serait tournée exclusivement vers la qualité du produit final au moindre coût : "l'objectif cible". L'approche "objectif cible" est une approche globale de la maîtrise de la qualité des produits industriels en partant de la définition du besoin client et des cibles souhaitées sur le produit. Le respect absolu du centrage des procédés permet l'utilisation de la cotation statistique. Les implications concernent également les services d'industrialisation notamment dans le choix des moyens de production. Cette approche implique des règles strictes de rédaction des documents de production. En production, tout sera mis en œuvre pour faciliter le centrage des procédés sur la cible. Cela suppose une autre façon de concevoir le "contrôle de réception" d'un lot par l'utilisation de Cpm.

Au-delà des outils, l'objectif cible est une "philosophie industrielle" au service de la MQP

**Mots Clés :** Maîtrise des procédés, Cotation statistique, capabilité, aptitude, conformité

## 1. Conformité d'un produit vs conformité d'une caractéristique

Un des principes essentiels de la qualité est la conformité. La norme la définit de la façon suivante : "Satisfaction aux exigences spécifiées". [ISO 8402]

Derrière cette définition bien vague et bien succincte se cache un vrai problème pour l'industriel. Quelle doit être l'exigence à spécifier pour assurer la qualité de mes produits ?

Afin de bien préciser ce problème, nous rappelons quelques évidences parfois oubliées concernant la perception de la qualité par le client.

- La qualité de fonctionnement d'un produit n'est pas un plus, c'est un minimum exigé. Il est évident lorsque le client achète un produit que celui-ci doit fonctionner.
- La perception de la qualité par le client est plus liée à la fiabilité des produits. Il veut un produit « sans soucis ». Ces vingt dernières années, on a vu croître de façon considérable le nombre moyen de produits technologiques possédés par un foyer. La panne d'un produit devient insupportable.
- Pour un client, peu importe si les caractéristiques élémentaires sont "dans les tolérances", pourvu que le produit fonctionne bien et pendant longtemps.

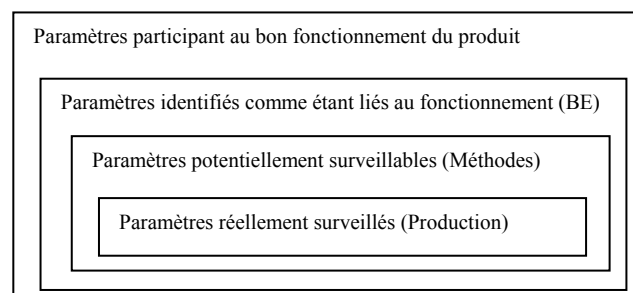
Ainsi, la qualité achetée est la qualité du produit fini et plus encore, la qualité qui dure, la fiabilité. Le souci des industriels consiste à satisfaire les besoins des clients. Dans cet objectif, la seule maîtrise de la qualité qui devrait compter est la maîtrise de la qualité **des produits**. La perception de la qualité dans l'entreprise doit être orientée vers cette qualité des produits finis qui ne se résume pas à la simple addition de caractéristiques élémentaires. Ainsi, il est possible de trouver un produit qui donne entière satisfaction bien qu'il contienne plusieurs caractéristiques hors spécifications. Il est également possible de trouver des produits qui ne donnent pas satisfaction bien que toutes les caractéristiques soient dans les spécifications.

La question est donc la suivante : comment définir de façon précise une spécification au niveau d'une caractéristique élémentaire telle qu'une cote afin de satisfaire à l'exigence suprême : "La satisfaction des besoins exprimés ou implicites du client final."

Nous définirons la conformité d'une caractéristique élémentaire comme étant

**"L'aptitude à rendre le plus probable possible la conformité du produit final."**

Une analyse d'un grand nombre de produits industriels, nous a conduit à la conclusion suivante : Il est exceptionnel de trouver une caractéristique qui soit seule, directement liée à la qualité d'un produit fini. La qualité d'un produit fini est toujours le résultat d'une combinaison de plusieurs caractéristiques qui ne sont d'ailleurs pas toujours contrôlées. Quels que soient les systèmes industriels, même pour les plus simples, on retrouve toujours cet invariant : la qualité finale du produit résulte de la combinaison plus ou moins complexe d'un nombre important de paramètres élémentaires gagnants que nous pouvons classer de la façon suivante :



*Figure 1 – Emboîtement des différents paramètres*

Pour assurer le fonctionnement idéal, il faudrait contrôler tous les paramètres participant au bon fonctionnement. Cependant, ces paramètres ne sont pas tous identifiés. Parmi les paramètres identifiés, certains ne peuvent être surveillés en production pour des problèmes de faisabilité (contrôle destructif par exemple) ou de coûts. On se limite donc en règle générale au suivi de quelques paramètres considérés comme critiques afin d'assurer la qualité finale du produit qui doit bien sûr être notre seul objectif. Dans ce point de vue, peut-on considérer que la façon traditionnelle de définir des tolérances et de décider de l'acceptation ou du refus d'un lot réponde à la notion de conformité de la caractéristique élémentaire que nous venons de définir ?

## 2. Les critères d'évaluation des productions

Dans un premier temps, nous allons observer les différentes façons de réceptionner un lot, c'est à dire de décréter sa conformité

### 2.1. Réception sur NQA

La plus ancienne des méthodes d'évaluation d'un lot de fabrication est fondée sur le Niveau de Qualité Acceptable. Cette méthode bien que fort ancienne est encore très utilisée de nos jours. Le contrôle le plus courant consiste en un contrôle aux attributs en utilisant un contrôle simple double, multiple ou encore progressif. En fonction du nombre de défauts prélevés, on conclut à l'acceptation du lot ou à son refus moyennant un risque de première et de seconde espèce. Dans ce cas, le critère de conformité est clairement fondé sur le pourcentage de produits hors tolérance.

### 2.2. Réception sur capabilité Cp Cpk

Si on veut maintenir des prélèvements de taille économique, la démarche précédente de contrôle aux attributs ne peut pas descendre bien en dessous d'un NQA de 1. Cela est bien sûr inacceptable pour atteindre le standard de qualité exigé actuellement. Pour améliorer l'efficacité des contrôles, il faut passer au contrôle aux mesures afin de ne plus chercher la pièce hors tolérance, mais plutôt à prévoir sa présence. Sont alors apparus les indicateurs de capabilité (ou d'aptitude) Cp et Cpk tels que :

$$Cp = IT/6\sigma \quad \text{et} \quad \text{(Equation 1)}$$

$$Cpk = \min[TS - \bar{X}; \bar{X} - TI]/3\sigma \quad \text{(Equation 2)}$$

Dans le cas d'un contrôle aux mesures, on demande au producteur de s'assurer que le moyen de production employé est capable de fournir un Cpk supérieur à un mini spécifié (souvent 1,33). Dans ce cas de figure, on a conservé comme critère de conformité le pourcentage de produits hors tolérances. Le cas de la figure 2 montre bien deux productions dont les conséquences sur le produit fini ne seront pas les mêmes et qui pourtant donneront le même indicateur de capabilité Cpk

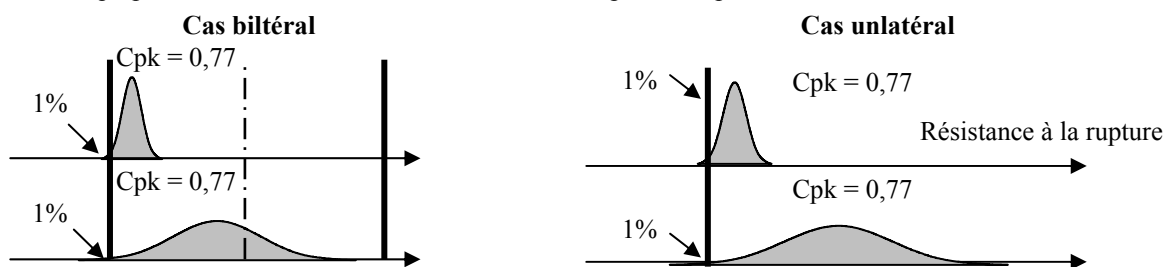


Figure 2 – Le Cpk, un critère fondé sur le % de produit hors tolérances

Un autre indicateur fondé sur la fonction perte de Taguchi permet de tenir compte du centrage des procédés, il s'agit du Cpm. Malheureusement cet indicateur n'est pas ou peu utilisé par nos industriels.

$$Cpm = IT/6\sqrt{\sigma^2 + (\bar{X} - Cible)^2} \quad \text{(Equation 3)}$$

### 2.3. Le cas des procédés non normaux

La capabilité (aptitude) d'un procédé a d'abord été défini dans le cas d'une loi normale. On a défini la dispersion du procédé comme étant 6 écarts-types. Cela correspond, dans le cas d'une loi normale, à 99,73% de la population. Dans le cas d'une loi non normale on a voulu une certaine équivalence dans la notion de la dispersion avec le cas classique de la loi normale. Comme 6 écarts-types ne donnent pas 99,73% de la population, il fallait choisir :

- Soit la dispersion était l'intervalle contenant 99,73% de la population ;
- Soit la dispersion correspondait à 6 écarts-types.

Le choix s'est porté sur la première solution, ce qui, à notre avis, n'était pas la meilleure solution comme nous le montrerons dans cette présentation.

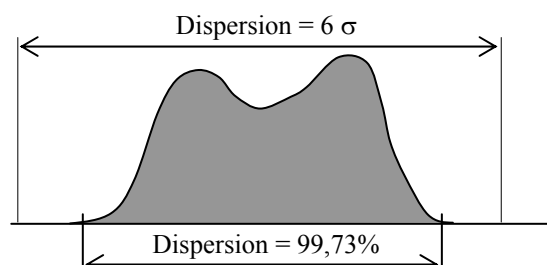


Figure 3 – deux approches pour définir la dispersion

## 2.4. Conformité dans le cas des répartitions non normales

Le premier avantage de la définition à 6 écarts-types était la simplicité de calcul. Inutile d'identifier la loi, le calcul était toujours le même.

Avec la définition à 99,73% on a créé un vrai casse tête pour statisticien. On trouve de très nombreuses publications sur le sujet afin d'estimer la dispersion à 99,73% dans différents cas de figure à partir d'approches paramétriques ou non paramétriques. On peut d'ailleurs sans risque de se tromper affirmer que ce sujet est loin d'être épuisé. Le problème de cette approche est qu'elle nous semble inutilisable pour l'industriel. Il y a tellement de cas de figure qu'il est impossible d'être sûr d'utiliser la bonne méthode. L'approche dispersion =  $6\sigma$  simplifiait beaucoup la vie des industriels.

Mais la grande critique que l'on fera surtout à l'approche 99,73% est que cette définition ne garantit pas la conformité du produit final dans le cas de combinaison de caractéristiques ou alors à un coût très élevé. Nous montrerons que l'approche six écarts-types est orientée vers la qualité du produit fini plus que vers la caractéristique élémentaire. Elle prend en compte l'aspect combinatoire de l'assemblage.

## 2.5. Le cas des procédés unilatéraux

La cas des procédés unilatéraux comme les défauts de forme, de position, les rugosités ou encore les résistances à la rupture posent également de nombreux problèmes. Plusieurs solutions ont été proposées toujours en relation avec le cas de la loi normale. On a qualifié un procédé en fonction du pourcentage de pièces hors tolérance sur la caractéristique considérée, mais pas en fonction de l'aptitude à rendre le plus probable possible la conformité du produit final.

Par exemple les deux répartitions de la figure 2 sont à ce propos claires. D'en ce qui concerne le pourcentage hors tolérance, ils sont identiques. Par contre d'en ce qui concerne la satisfaction du client final, il n'en va pas de même. Pourtant la capacité telle qu'elle est définie aujourd'hui considère ces deux répartitions identiques.

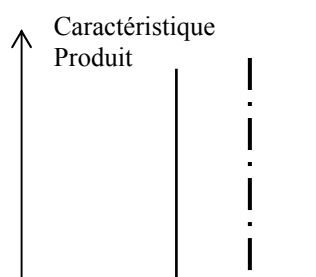
## 3. Le calcul des tolérances

L'évaluation de la conformité d'un lot part toujours d'une tolérance placée par un bureau d'étude ou un service d'industrialisation. Compte tenu de l'importance de cette tolérance il faut se pencher sur la façon dont elle est déterminée avant de valider une méthode de contrôle. Les principales méthodes de détermination des tolérances sur les caractéristiques sont les suivantes :

- Détermination arbitraire en fonction de législations, de normes ou de l'expérience du concepteur.
- Détermination arbitraire à partir d'études de corrélations entre la fonction attendue et la caractéristique étudiée.
- Détermination par calcul en partant de la fonction attendue en se plaçant dans le pire des cas.
- Détermination par calcul en intégrant l'aspect combinatoire en utilisant le tolérancement statistique.

Les méthodes les plus largement répandues semblent être les déterminations arbitraires. Cela relativise souvent la notion de ppm ou de hors tolérance. La même caractéristique cotée de chaque côté de la manche aura ainsi des cotes différentes. Avec le système métrique on aura par exemple :  $10 \pm 0,025$  mm alors qu'un concepteur anglo-saxon cotera la même caractéristique  $0.4 \pm 0.001$  inch ce qui correspondrait à  $10,16 \pm 0,0254$ . Le simple arrondi pour le placement des tolérances relativise leur importance.

La détermination à partir de corrélation est réservée aux fonctions "pointues" et difficilement modélisable par une approche mathématique. Les plans d'expériences ou les régressions polynomiales peuvent alors être utilisés



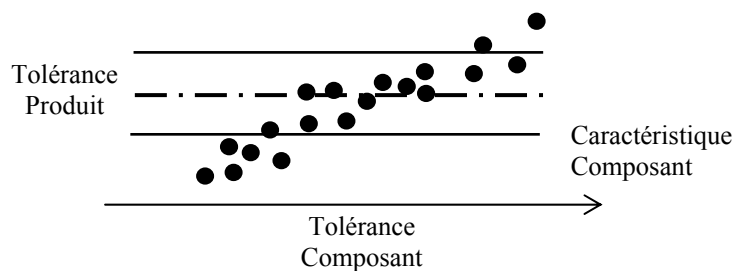


Figure 5 – Détermination des tolérances par corrélation

L'approche de modélisation de la fonction par une fonction mathématique conduit aux deux types de cotation, au pire des cas et par cotation statistique. La cotation au pire des cas qui est la plus répandue est malheureusement celle qui génère le coût de fabrication le plus élevé. La cotation statistique, tient compte de l'aspect combinatoire des caractéristiques et permet un élargissement très important des tolérances de fabrication. Par contre, elle fait l'hypothèse d'un bon centrage de la production.

Deux méthodes coexistent pour ce tolérancement statistique :

### 3.1. Méthode classique

Dans les cas simples linéaires, on considère l'ensemble des caractéristiques centrées, et on détermine :

- Les cibles de chaque caractéristique en fonction de l'équation  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$
- Les tolérances de chaque caractéristique par additivité des variances

Dans le cas où  $y = f(x_1, \dots, x_k)$  est une relation non linéaire, le calcul de la répartition statistique est un peu plus compliqué. La solution exacte est souvent difficile à trouver et on est obligé de rechercher la répartition par approximation. Pour cela, deux approches peuvent être envisagées :

- la linéarisation de la fonction par un développement de Taylor ;
- la recherche d'une approximation par simulation informatique (méthode de Monte Carlo).

### 3.2. Le tolérancement orienté procédé (Dr W. A. Taylor, 1997)

Le tolérancement orienté procédé est un compromis entre le tolérancement statistique et le tolérancement au pire des cas. Le principe est le suivant : on fixe un intervalle dans lequel doit se situer la moyenne, et on fixe également un maximum à ne pas dépasser pour l'écart type.

*Exemple de notation pour le tolérancement orienté process :*  $10 \pm 0,02 \leq 0,005$

Cette spécification indique que la moyenne de la caractéristique doit être comprise entre 9,98 et 10,02 et que l'écart type ne doit pas être supérieur à 5 microns.

Comme nous l'avons vu précédemment les approches traditionnelles de décision de la conformité des pièces ne garantissent que le respect d'un certain pourcentage hors tolérances. En aucun cas elles ne s'occupent du centrage des procédés. Ainsi, tant que l'on associe la notion de conformité à la notion de ppm hors tolérance, **il est interdit** d'utiliser les systèmes de tolérancement statistique. On se prive d'un outil remarquable qui permettrait de diminuer de façon très importante les coûts de production à niveau de qualité égal ou d'améliorer de façon très importante la qualité à coût égal.

## 4. Une autre approche de la conformité des caractéristiques

Nous venons de voir les limites de la conformité fondée sur le pourcentage de pièces hors tolérances. Ce principe ne permet pas de satisfaire le principe de base que nous avons proposé sur la conformité d'une caractéristique élémentaire qui est rappelons-le :

**"L'aptitude à rendre le plus probable possible la conformité du produit final."**

#### 4.1. Cas des caractéristiques bilatérales

Nous proposons une autre approche, et qui consiste à **ne pas tenir compte de la normalité** des populations pour définir la capacité d'un moyen de production. Quelle que soit la répartition des pièces, dans le cas d'un critère unilatéral, nous utiliserons les formules 1, 2 et 3 pour définir le Cp, Cpk et le Cpm.

En effet, la plupart pour ne pas dire la quasi-totalité des caractéristiques élémentaires contribuent à la fonction du produit au travers d'une combinatoire. Par exemple en mécanique chaque cote entre dans une chaîne de cote pour contribuer à un jeu fonctionnel qui lui-même rentre dans une combinatoire incluant des défauts de forme, des problèmes de lubrification etc. En électronique, la fonction souhaitée est le résultat d'une combinatoire des valeurs de résistances, condensateurs, transistors etc.

En appliquant le théorème central limite, on s'aperçoit que même si chaque caractéristique ne suit pas une loi normale, à la fin, la fonction vendue au client aura des fluctuations aléatoires proche d'une répartition normale. Ce qui est important, ce ne sont donc pas les ppm hors tolérances sur chaque caractéristique, mais les deux éléments fondamentaux qui sont le centrage de la production et la variance de la dispersion.

La figure 6 illustre la rapidité de la convergence vers une même répartition dans le cas d'une fonction  $y1 = x1 + x2 + x3 + x4 + x5$  et dans le cas d'une fonction  $y2 = x1 * x2 * x3 * x4 * x5$  pour deux répartitions de base des x (normales et uniformes) avec dans les deux cas une moyenne de 10 et un écart-type de 1.

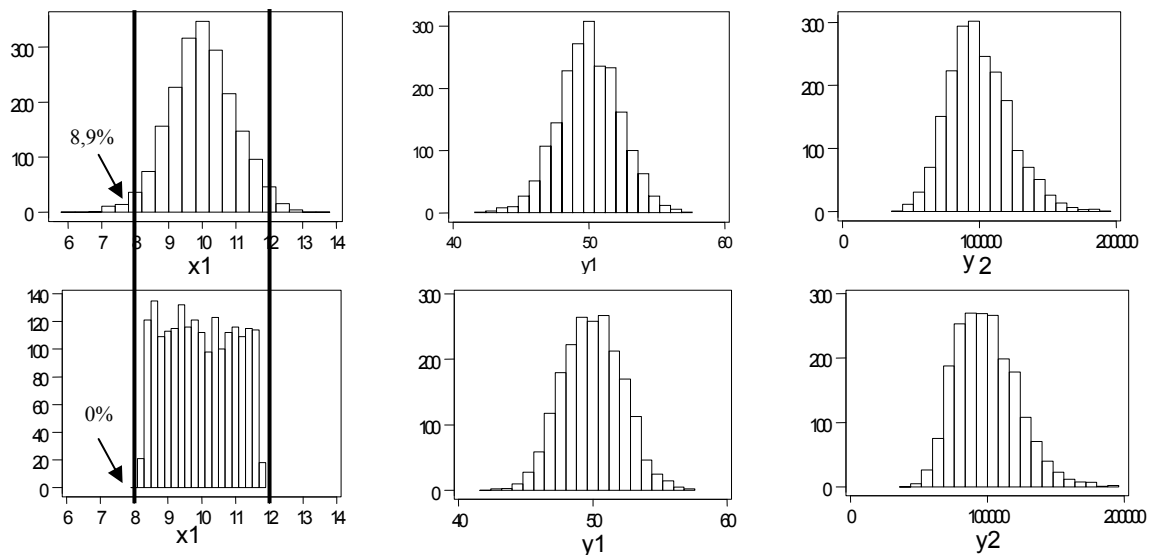


Figure ? – Le type de répartition influe peu sur la qualité du produit fini

**Conclusion :** si on place les tolérances sur  $x1$  à 11.7 et 8.3, la répartition normale aurait 16,6% hors tolérance, la répartition uniforme 0%. Et pourtant, quelle que soit la répartition de base, le résultat sur la fonction vendue au client restera de même type. En calculant les capacités indépendamment de la répartition nous trouverions sur  $x1$  :  $Cp = Cpk = Cpm = 0,56$ . Les deux répartitions seraient jugées équivalentes. Dans ce cas l'indicateur de capacité est fondé sur la qualité générée dans le produit fini, pas sur le pourcentage de non-conforme sur la caractéristique.

Par contre le centrage de la production est très important pour assurer le bon centrage sur la cible de la fonction finale. Pour garantir la conformité du produit final, le bon critère d'évaluation est donc le Cpm qui garantit ce centrage. Le Cpm sera évalué par l'équation (3) quel que soit la répartition des données de départ. L'utilisation du Cpm rend possible l'usage de la notation statistique.

#### 4.2. Cas des procédés unilatéraux

Nous venons de montrer l'intérêt d'utiliser le Cpm pour mesurer la qualité des produits, indépendamment de la normalité, dans le cas de caractéristiques bilatérales. Qu'en est-il des cas unilatéraux. Afin d'illustrer notre propos, nous nous appuyons sur l'exemple d'un roulement automobile.

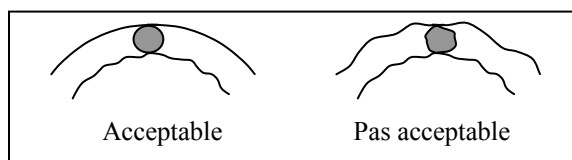
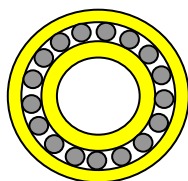


Figure ? – Cas des répartitions unilatérales

L'objectif du constructeur est de fabriquer un roulement de qualité, qui de plus, fonctionne longtemps.

Il évident que si tous les diamètres sont sur la cible, les rugosités proches de zéro ... le fait d'avoir une pièce en limite de spécification sur sa circularité de la bille ne pose aucun problème sur le produit fini. Par contre, si on est déjà en limite sur les diamètres ou sur la circularité des chemins de roulement, alors cette pourra mettre en péril la qualité du produit fini. On le voit, aussi bien dans le cas unilimite que dans le cas bilimite, la qualité du produit est toujours une combinatoire de plusieurs caractéristiques élémentaires.

Pour mieux modéliser le comportement combinatoire dans le cas unilatéral, nous avons proposé de calculer un Cpm dans le cas unilatéral supérieur par l'équation ?? et dans le cas unilatéral inférieur par l'équation ??. [Pil 97]

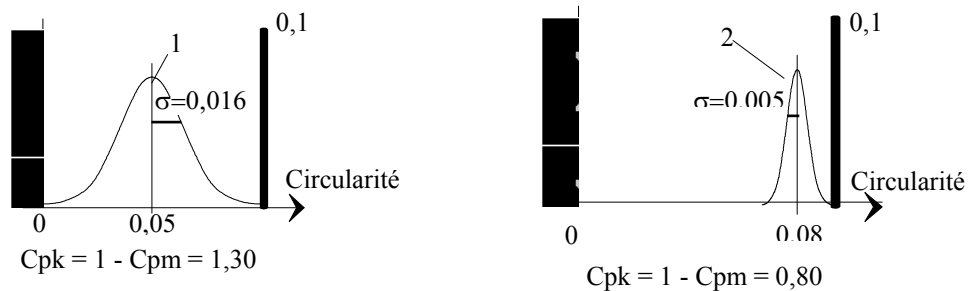
cas unilatéral supérieur  $Cpm = Tolerance / 1,46\sqrt{\sigma^2 + \bar{x}^2}$  (Equation ??)

Cas unilatéral inférieur  $Cpm = A / \sqrt{\frac{1}{X^2} \left( 1 + 3 \frac{\sigma^2}{X^2} \right)}$  (Equation ??)

Avec A définie à partir d'une situation de référence

Considérons les deux populations 1 et 2 de la figure 18, La première population est de meilleure qualité car la probabilité d'avoir des valeurs en limite de tolérance est plus faible que dans le cas 2. Même si le % hors tolérance est plus identique.

Dans les deux cas, le Cpk est égal à 1. Il ne tient pas compte de l'aspect combinatoire. Le Cpm reflète la différence de qualité des deux lots. Il tient compte de l'aspect combinatoire.



Avec l'assemblage des différentes caractéristiques, la qualité du roulement sera meilleure avec la population 1 qui a une moyenne plus faible. Elle permettra d'être robuste par rapport aux autres caractéristiques. Dans la population 2, toutes les valeurs sont limites, la qualité du roulement ne sera acquise que si aucune autre caractéristique n'est en limite. De nombreux produits assemblés seront défectueux. Et si on affirme que la population 2 est conforme quelle que soit les autres caractéristiques. Alors c'est que les tolérances sont trop serrées, et nous pouvons affirmer que toutes répartitions de même Cpm donneront le même résultat sur le produit fini, même s'il y a des pièces hors tolérances.

## 5. La cote cible rend plus probable la conformité du produit final

Lorsque l'on considère l'aspect combinatoire dans l'assemblage d'un produit, on note l'importance de concentrer le plus possible de produits sur la cible. Prenons l'exemple de l'assemblage d'un arbre et d'un alésage. Si le diamètre de l'arbre est parfaitement placé sur la cible, quel que soit le diamètre de l'alésage, on aura un jeu acceptable. Dans le cas d'un arbre en limite de tolérance, on prend le risque d'assembler cet arbre avec un alésage également en limite de tolérance, et ainsi de se situer dans une "zone à risque".

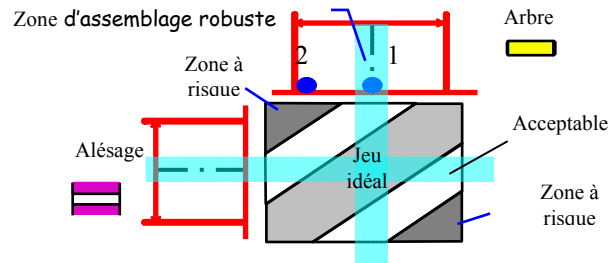


Figure ??- FFFF

Ainsi, le fait de placer une caractéristique élémentaire sur la cible, rend le produit plus "robuste" par rapport aux fluctuations des autres caractéristiques. On respecte bien le critère de conformité :

**"L'aptitude à rendre le plus probable possible la conformité du produit final."**

## 6. L'objectif cible, une autre façon de penser la qualité à moindre coût

Comme nous l'avons montré dans cette communication, nous sommes persuadés que nous faisons fausse route en nous focalisant uniquement sur les caractéristiques hors tolérances sans regarder la façon dont sont réparties les pièces à l'intérieur de la tolérance. Dans la plupart des entreprises, nous considérons qu'un produit est bon à l'intérieur des tolérances, mauvais à l'extérieur, sans différence de nuance. En suivant ce raisonnement, un système de tri automatique éliminant systématiquement les pièces hors tolérances permettrait d'obtenir une production considérée comme parfaite. Taguchi a bien montré les limites de ce raisonnement avec la fonction perte. [Tag]

Il est nécessaire de faire évoluer ce raisonnement afin d'introduire la règle suivante : Ce qui est important, ce n'est pas seulement qu'une pièce soit dans l'intervalle de tolérance, mais c'est aussi et surtout la répartition des pièces à l'intérieur de cet intervalle. Il faut une répartition **centrée sur la cible, de dispersion la plus faible possible**.

La notion importante qui apparaît ici est la notion de cible. La cible est très souvent le milieu de la tolérance, mais ce n'est pas toujours le cas. Ce qui est important c'est que tout le monde soit d'accord sur cette cible. Pour améliorer la qualité de nos produits, nous devons faire pénétrer dans nos entreprises cette culture de l'objectif cible. Partant du principe que toute variabilité introduite sur les composants se retrouve nécessairement sur le produit fini, nous devons orienter toute l'entreprise vers la définition et le respect de cibles pour toutes les caractéristiques.

### 6.1. L'objectif cible dès la conception

Le travail commence au niveau des bureaux d'étude. La première tâche qui incombe au concepteur est d'identifier les paramètres les plus importants qu'il est nécessaire de suivre. L'utilisation du QFD permet de définir de façon optimum les cibles ainsi que les tolérances sur les caractéristiques attendues par le client. Le concepteur devra déterminer de façon précise les cibles à atteindre afin de garantir un produit robuste et fiable. Dans cette tâche, les plans d'expériences flous Bayésiens [Roc 87], et la démarche de conception robuste que nous avons proposée prennent une importance primordiale.

Un produit doit bien sûr être robuste et fiable, mais il doit également être bon marché. Pour cela, la cotation statistique offre de larges possibilités de diminution des coûts qui ne sont pas assez exploitées actuellement. Cependant, ce type de cotation n'est pas sans risque, et il faut imposer à la fabrication le centrage absolu des caractéristiques par le respect de capabilité adaptées telles que le Cpm. Toutes les





caractéristiques qui ont fait l'objet d'une cotation statistique doivent bien entendu être repérée sans équivoque par le symbole ST

La façon dont les plans sont cotés doit impérativement être modifiée. Sur chaque caractéristique, la cote cible doit apparaître clairement. Les tolérances doivent être indiquées en cotes centrées. Le type de cotation  $10^{+0.05}_{+0.01}$  est interdit en dans un bureau d'étude qui travaille en objectif cible. Systématiquement on utilisera la notation  $10,03 \pm 0.02$ . Ce point est un point essentiel. Exceptionnellement, lorsque la cible n'est pas le milieu de la tolérance, on note les tolérances en clair autour de la cible. La cotation en cote cible nécessite l'utilisation intensive de la notion de capabilité dans les bureaux d'étude.

Lorsque la cible n'est pas fixée par le concepteur, la cible est choisie librement par les opérateurs qui peuvent faire des erreurs de calculs ou avoir une cible changeante, parfois ils visent le maxi, parfois ils visent le mini. Cela crée de la variabilité qui inévitablement se retrouve au niveau du produit fini.

## 6.2. L'objectif cible dans le choix des moyens de production

Au niveau du service d'industrialisation, un gros travail de préparation doit également être fourni. Avec l'objectif cote cible, on cherche impérativement le centrage absolu des caractéristiques. Cela modifie considérablement la façon de travailler et le choix des moyens de production. Par exemple :

- on préférera les moyens qui permettent le centrage des caractéristiques avec une bonne précision même si c'est légèrement au détriment de la dispersion.
- On cherchera à figer les cibles sur les paramètres procédés,
- Même si la cible idéale n'est pas connue, il faut quand même fixer une cible, cela réduira la variabilité et améliorera le produit fini ;
- on éliminera systématiquement toute dérive de caractéristiques procédés en utilisant le plus possible des compensations automatiques ;
- on devra vérifier la capabilité des moyens de production au sens du Cpm.

## 6.3. L'objectif cible en production

Enfin, en production, avec ou sans carte de contrôle, la règle est simple, il ne suffit plus d'être dans les tolérances, on cherche à centrer la production sur la cible. Le respect de cette règle permet d'obtenir des tolérances beaucoup plus larges, et ainsi de diminuer les coûts de production.

En visant la cible sur les caractéristiques surveillées, on rendra le produit **robuste** par rapport à toutes les caractéristiques non surveillées mais qui fluctuent quand même. Ce centrage doit être réalisé en utilisant bien sûr les cartes de contrôle, mais en utilisant également tous les moyens qui assurent le centrage. On peut citer :

- La façon dont les appareils de mesure sont utilisés. On cherchera systématiquement à visualiser la cible au centre du cadran, là où les opérateurs ont naturellement tendance à se placer .
- La façon dont les documents sont rédigés, qui doit insister sur le respect de la cible
- L'utilisation massive de points "zéro défaut".
- L'utilisation massive des compensations automatique désormais possible sur les armoires de commande des machines.
- ...

Garantir le centrage dans toutes les conditions, même dans le cas des petites séries ou des procédés non normaux. Dans ces contextes particuliers, nos travaux sur l'application des cartes de contrôle permettent d'assurer cet impératif.

## 6.4. L'objectif cible pour contrôler la production

Comme nous l'avons souligné, le contrôle des productions ne doit plus se faire par comptage ou estimation d'un pourcentage de non-conforme, mais par le calcul d'un indicateur de capabilité Cpm. Mais que faire lorsque la conformité ne sera pas acceptée ?



Figure 2

Figure 1

Supposons qu'un fournisseur livre des pièces selon le schéma figure 1 (loi uniforme qui remplit les tolérances). L'écart type d'une loi uniforme est égal à :  $R/\sqrt{12}$

Dans ce cas, les capabilités seront :  $C_{pm} = C_p = IT/6\sigma = IT/6(IT/\sqrt{12}) = 0,58$

Si on donne à trier le lot avec les tolérances, le fournisseur ne trouvera aucune non conformité, et le lot reviendra dans les mêmes conditions. Le but du tri dans ces conditions n'est plus d'éliminer les pièces non conformes, mais de rendre le lot conforme aux capabilités demandées. Pour cela, une solution simple consiste à **trier les pièces par rapport à la moitié de la tolérance**.

Dans ce cas, les capabilités seront :  $C_{pm} = C_p = IT/6\sigma = IT/6(IT/2\sqrt{12}) = 1,15$

On trouve une capacité égale à 1,15 dans le cas d'une loi uniforme, ce qui est jugé acceptable dans le cas d'un tri. Pour obtenir une capacité de 1,33 en fin de tri, il faudrait diviser l'intervalle de tolérance par 2,3. On choisit généralement de diviser la tolérance par 2 pour des raisons de simplicité.

## 6.5. Les principes essentiels

Nous pouvons résumer les principes essentiels de l'objectif cible par :

- Toute variabilité sur une caractéristique se retrouve nécessairement sur le produit fini. Il est impératif de supprimer le plus possible ces variabilités.
- Chaque caractéristique surveillée en production doit avoir une cible parfaitement définie.
- La cible représente le niveau idéal de la caractéristique. Tous les opérateurs doivent s'efforcer de centrer le procédé sur cette cible.
- La cible doit être définie consensuellement entre tous les services concernés.
- La cible doit apparaître clairement sur les plans de fabrication.
- Les services de conception, méthodes, production doivent utiliser les outils de la Maîtrise Statistique des Procédés pour satisfaire le centrage du procédé sur cette cible.

La mise en place de ces principes pourtant très simples, nécessite une véritable remise en cause de l'entreprise pour assimiler les concepts suivants :

- la différence entre la qualité finale du produit et la qualité d'une caractéristique ;
- l'intérêt économique d'élargir le plus possible les tolérances en utilisant la cotation statistique, MAIS en imposant un centrage sur la cible ;
- l'abandon de la conformité au sens traditionnel bon/pas bon pour évoluer vers une conformité exprimée en capacité par le  $C_{pm}$  ;
- l'application des cartes de contrôle ou de toutes autres méthodes pour garantir que la production respecte la cible et satisfasse les capacités au sens du  $C_{pm}$ .

Ces concepts sont essentiels pour la bonne mise en place de la Maîtrise Statistique des Procédés dans les entreprises. L'échec de plusieurs entreprises dans l'introduction de la MSP vient du non respect de cette étape. On a voulu mettre en place les cartes de contrôle alors que la philosophie de l'entreprise était basée sur d'autres principes le principe du simple respect des tolérances. Nous avons fait dans cette démarche la même erreur que nous avons fait il y a dix ans en mettant en place du Kanban sans avoir mis en place les principes du juste à temps dans la culture de l'entreprise. Il faut d'abord introduire la démarche de cote cible avant d'être en place les outils du SPC tels que les cartes de contrôle. Des cartes de contrôle seront introduites dans l'entreprise que dans un second temps lorsque le besoin se fera sentir d'outils pour respecter la cote cible. Ce qui fait la qualité des produits ce n'est pas la mise en place de cartes de contrôle mais le respect de la cote cible sur toutes les tolérances. Faut-il les cartes de contrôle sur toutes les cotes sur toutes les caractéristiques, certainement pas. L'analyse de capacité souvent négligée montre très clairement quelles sont les cotes qui nécessitent une carte de contrôle. Elles sont en règle générale peu nombreuses peut-être respectées de manière souvent très simple pas aux autres automatismes.

La mise en œuvre de ces concepts est très intéressante pour l'entreprise. Elle procure en même temps une diminution des coûts de revient, et une amélioration de la qualité des produits.

## Bibliographie

- (1) **CASTAGLIOLA P.** - Evaluation of non normal Process capability indices using Burr's distributions - *QUALITY ENGINEERING* 8(4):587-593 – (1996)
- (2) **CHAN L. K., CHENG S. W., SPIRING F. A.** - A new measure of Process Capability : Cpm *JOURNAL OF QUALITY TECHNOLOGY*, Vol 20. (1989)
- (3) **CLEMENTS J.A.** - -Process capability calculations for non normal distributions - *QUALITY PROGRESS* - N°22 pp 95-100 – (1989)
- (4) **DUCLOS E. PILLET M. COURTOIS A.** – Optimisation de la maîtrise statistique des procédés par une méthode de filtrage d'ordre -*REVUE DE STATISTIQUE APPLIQUEE* – France - XLIV(2), 61-79 – (1996)
- (5) **DURET D. – PILLET M.** - *Qualité en Production* - Editions d'organisation - 360 pages - (1998)
- (6) **FARNUM R.N.** - Using Johnson curves to describe non-normal process data, *QUALITY ENGINEERING* 9(2) - pp329-336 – (1997)
- (7) **FLAIG J.J.** - A new approach to process capability Analysis, *QUALITY ENGINEERING* 9(2):205-212 – (1996)
- (8) **GUIDEZ L.** - MSP : Impact de la non normalité sur les indicateurs de capabilité - 2<sup>ème</sup> congrès Pluridisciplinaire Qualité et Sécurité de Fonctionnement – (1997)
- (9) **PILLET M. – ROCHON S. DUCLOS E.** - Generalization of capability index Cpm - Case of unilateral tolerances - *QUALITY ENGINEERING* – Etats-Unis - 10(1), 171-176 (1997-1998)
- (10) **PILLET M.** - *Appliquer la maîtrise Statistique des procédés (MSP/SPC)* - Edition d'organisation - 320 pages – (1996)
- (11) **PILLET M.** - *Les plans d'expériences par la méthode TAGUCHI* - Edition d'organisation – 320 pages – (1997)
- (12) **REARN W.L. & KOTZ S.** - Application of clements method for calculating second and third generation capability indices for non normal pearsonian population, *QUALITY ENGINEERING* 7(1) pp 139-145 – (1995)
- (13) **ROCHON S. PILLET M. COURTOIS A.** - Etude de cohérence entre la fiabilité prévisionnelle et la fiabilité opérationnelle application à la conception robuste et fiable des produits - 1<sup>er</sup> congrès Qualité & Sécurité de fonctionnement – Compiègne – (1994)
- (14) **SPIRING F. A.** - Process capability: A total quality management tool - *TOTAL QUALITY MANAGEMENT*, 6(1):21-33, (1995)
- (15) **TAGUCHI G.** - *System of experimental design* - American Supplier Institute – (1987)
- (16) **TAGUCHI G. ELSAYED A. HSIANG T. C.** - *Quality engineering in production systems* - Mc Graw-Hill – (1989)